

講演番号：FROO01

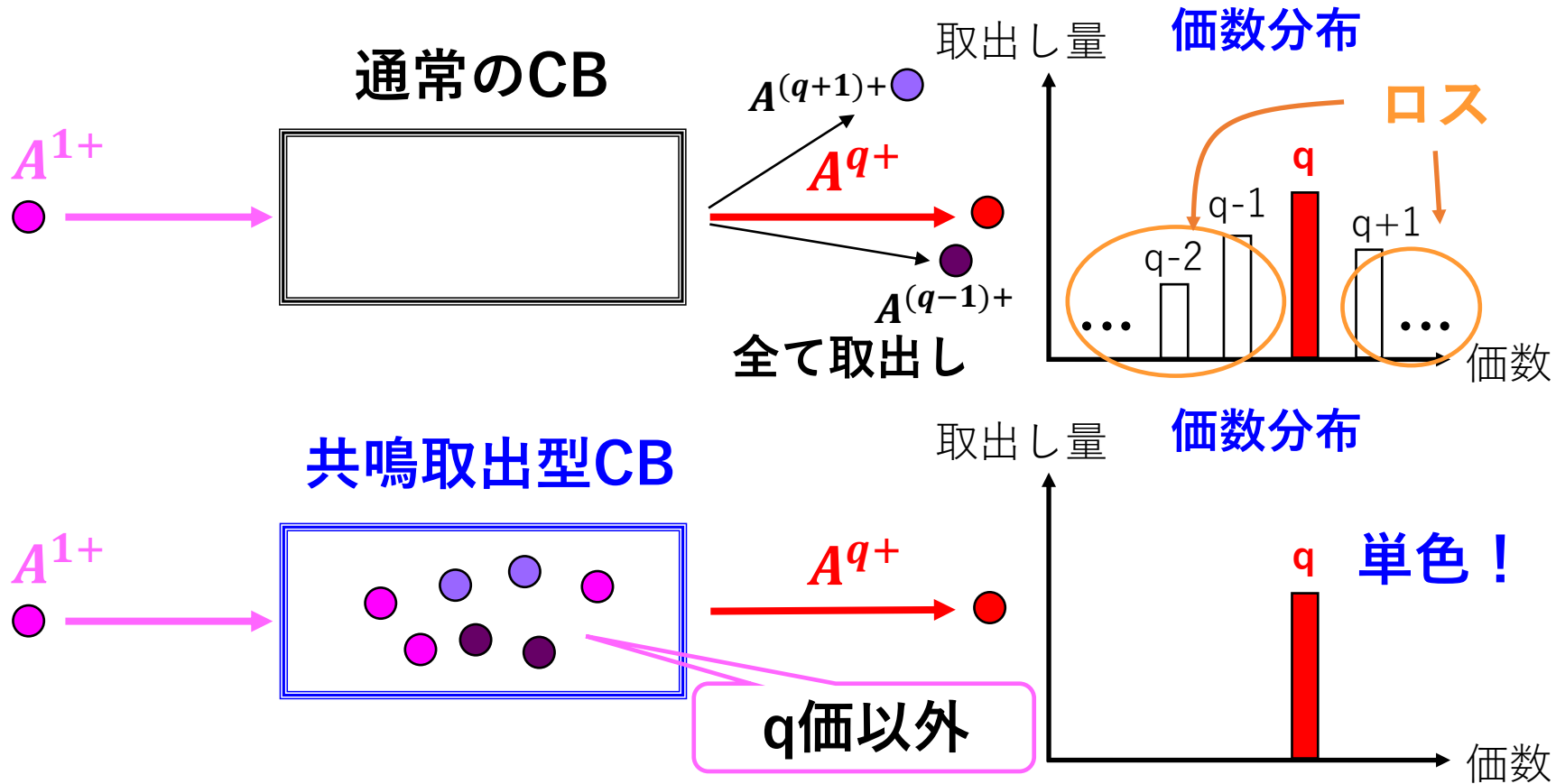
共鳴取出型チャージブリーダーの実証機開発

Development of prototype device for
resonant extraction charge breeder

高木 周（京大），小川原 亮（京大化研），栗山 靖敏（京大複合研），
久世 啓太（京大），頓宮 拓，若杉 昌徳（京大化研）

共鳴取出型チャージブリーダー

チャージブリーダー (CB) : イオンを**多価化**する



イオンを捨てない!

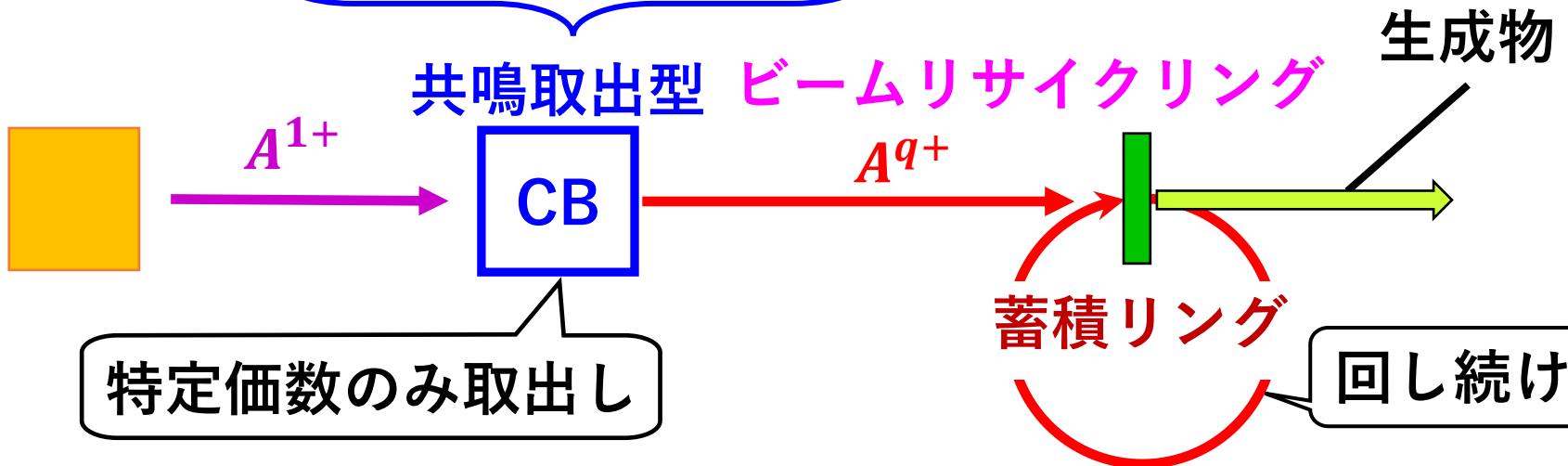
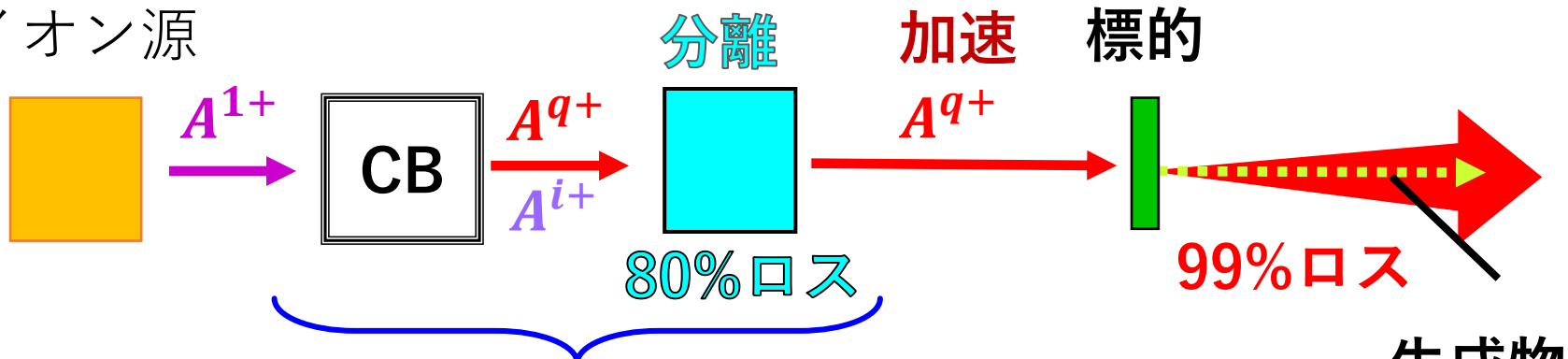
開発目的

➤ 希少RI核反応

せっかく作った**希少RI**を**すべて**実験に使いたい！

キーワード：**共鳴取出型CB** & **ビームリサイクリング**

イオン源

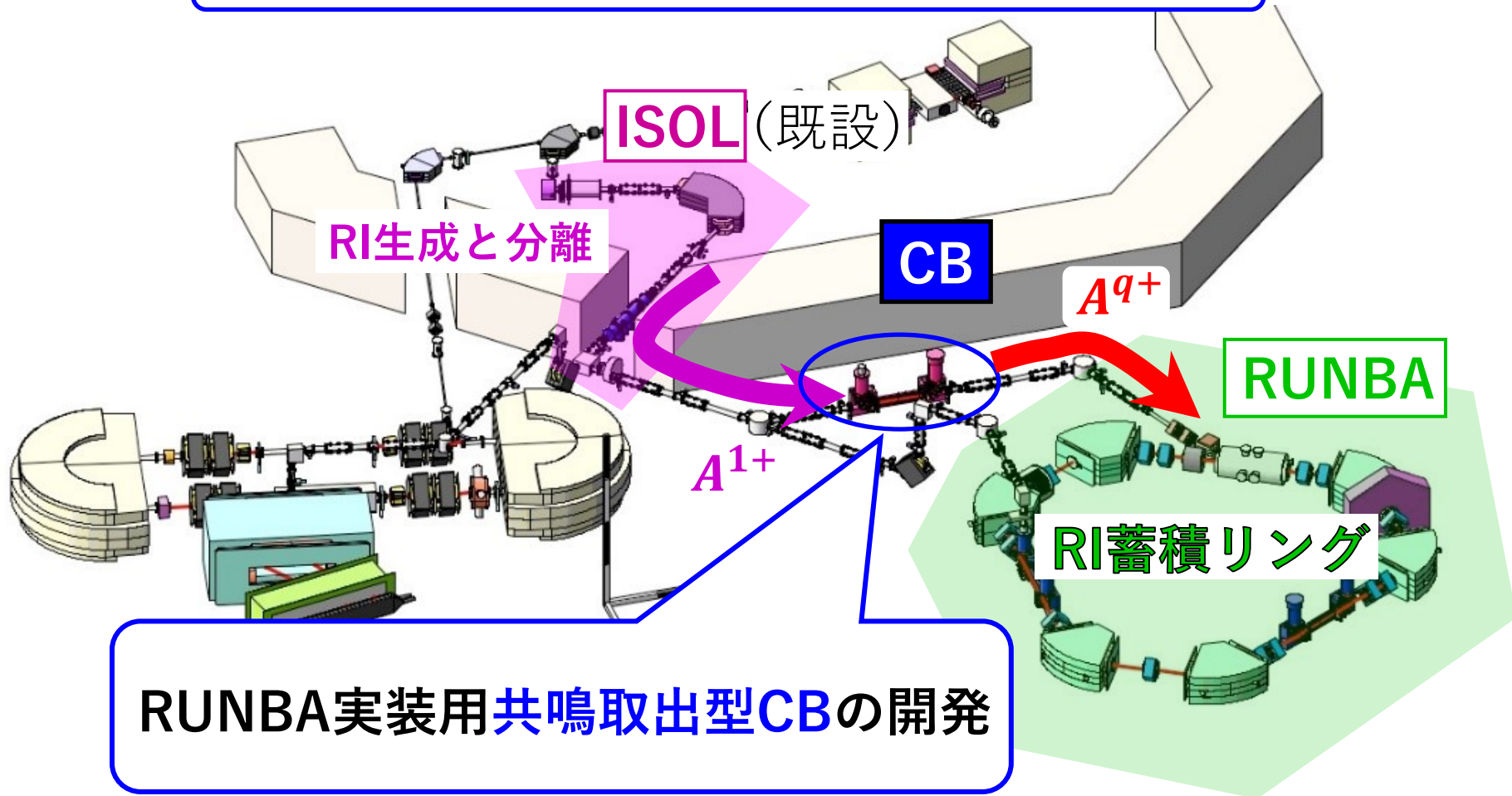


RUNBA(化研sLSR改造)

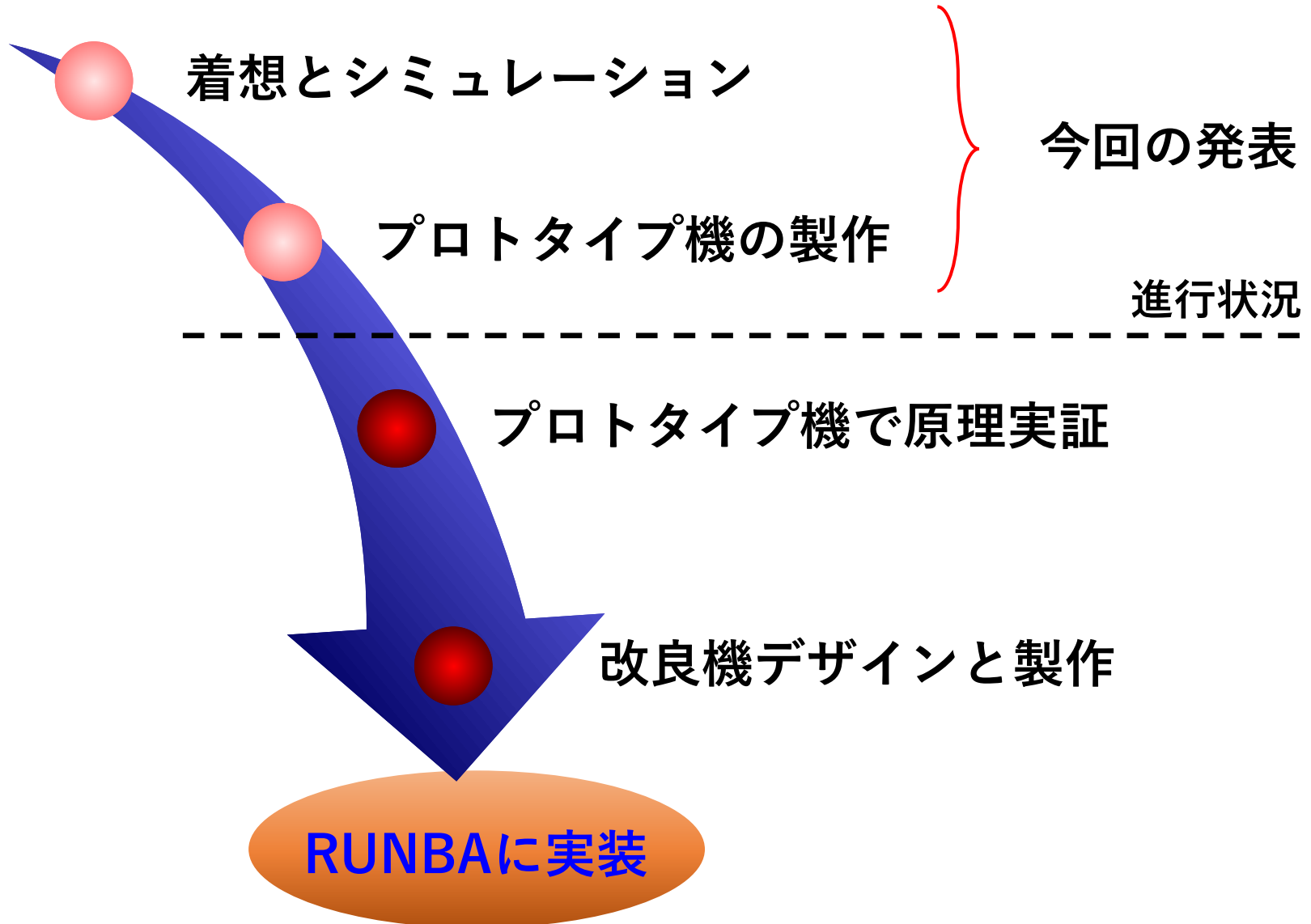
Recycled-Unstable-Nuclear Beam Accumulator

理化学研究所 RIビームファクトリーに建設予定

希少RI核反応実験のための要素技術R&D機



実装に向けて



チャージブリーダー

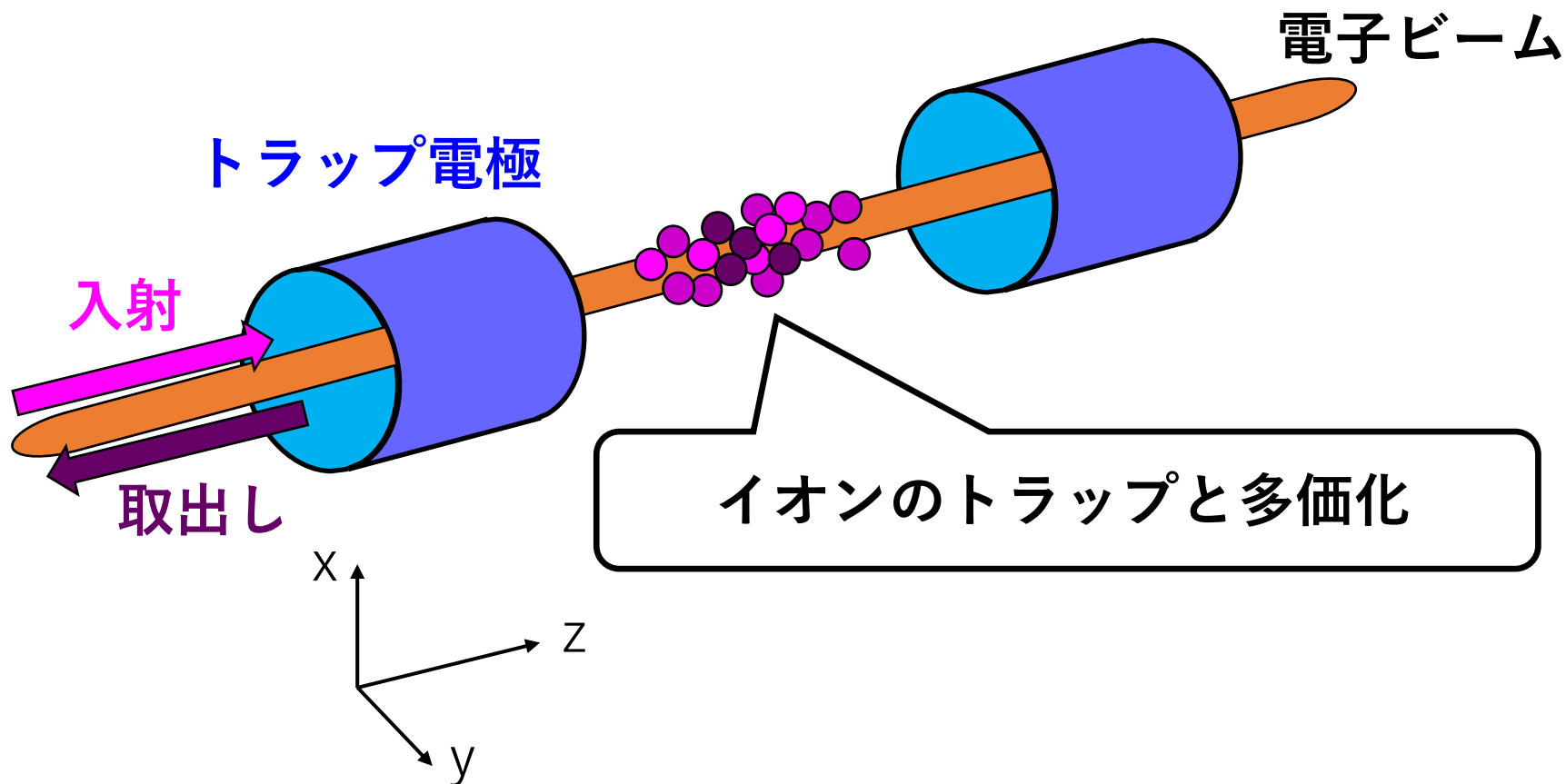
目標：
$$\frac{\text{(欲しい価数のイオン)}}{\text{(入射イオン)}} = 100\%$$

- ◆ ECR型 (Electron Cyclotron Resonance)
プラズマ中の電子がイオンを叩く
- ◆ EBIS型 (Electron Beam Ion Source)
電子ビームでイオンを叩く

EBIS型を改良し、高効率CBをつくる！

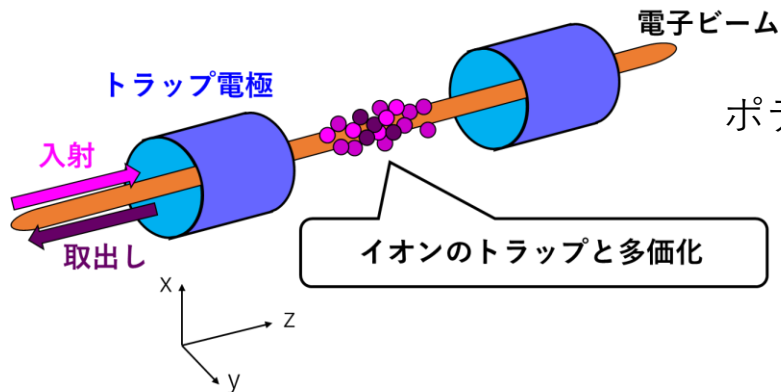
EBIS型CBの特徴

電子ビームと電極ポテンシャルでトラップ



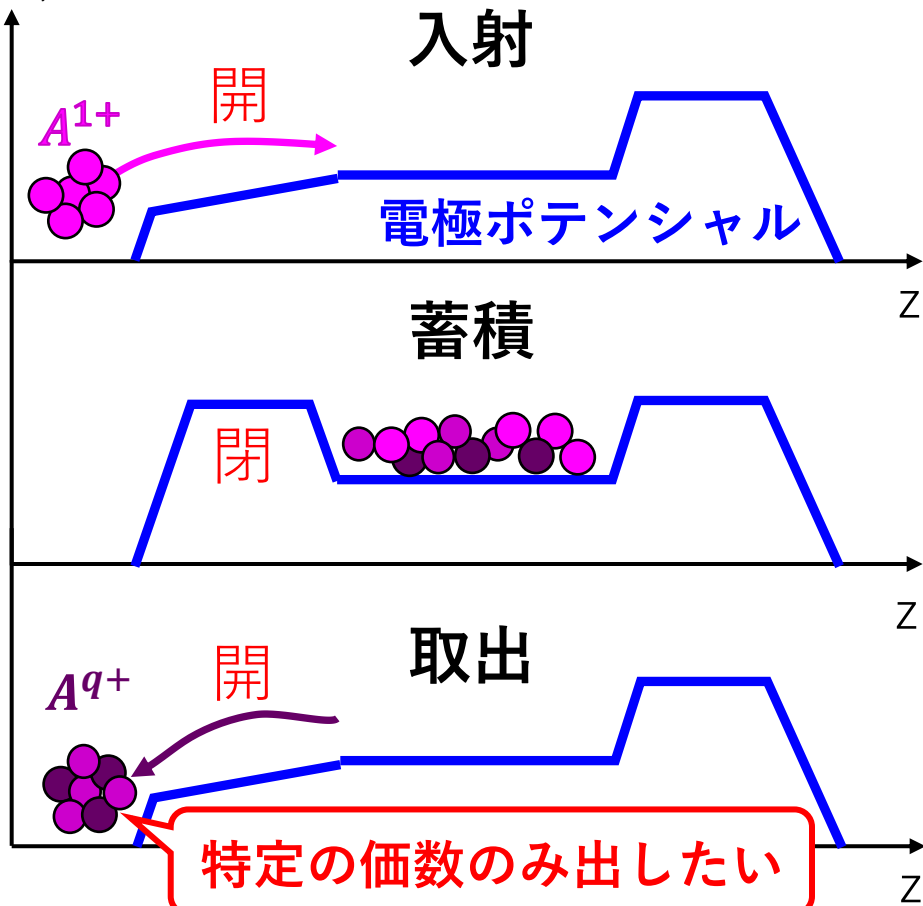
EBIS型CBの特徴

電子ビームと電極ポテンシャルでトラップ

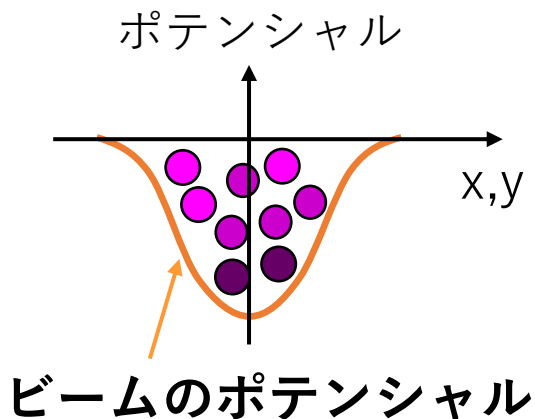


縦方向には電極でトラップ

ポテンシャル

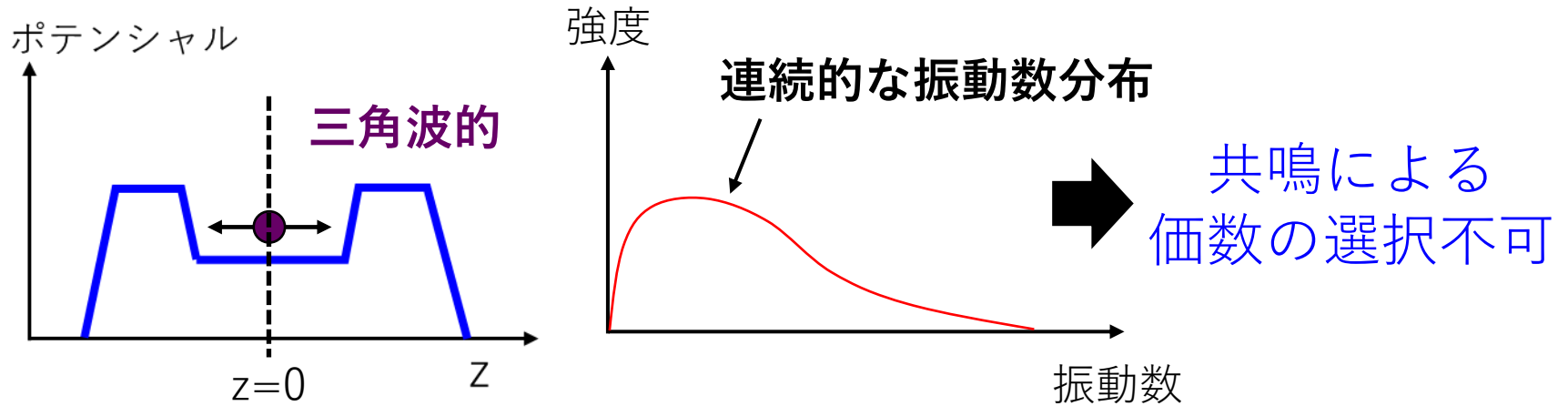


横方向にはビームでトラップ

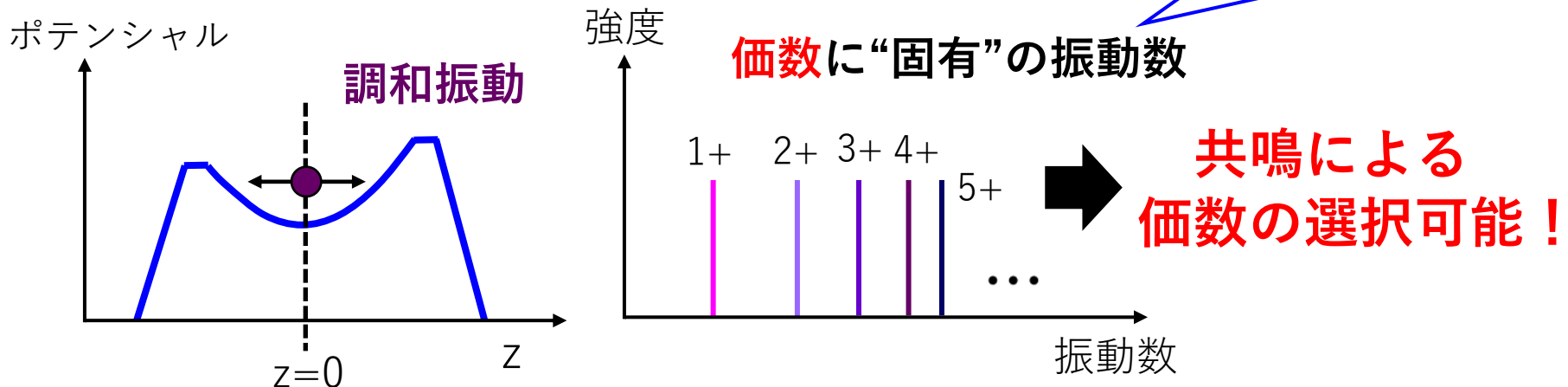


トラップ中のイオンの振動

通常のポテンシャル



二次関数型ポテンシャル



運動方程式

共鳴させる振動数 f を探せばよい

二次関数ポテンシャル

$$\varphi_0 = Vz^2$$

右のように振動させると・・・

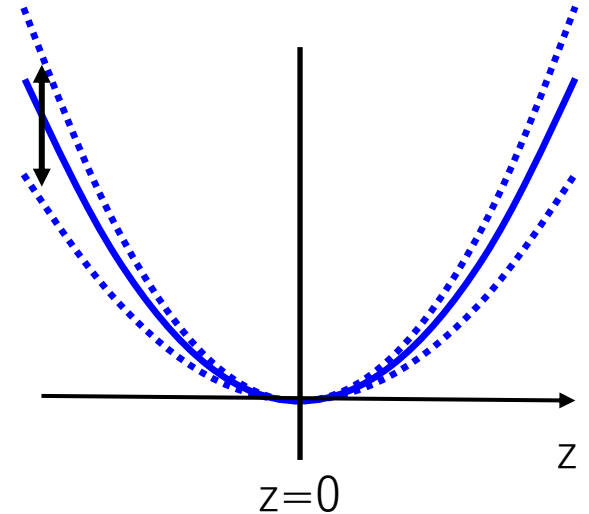
$$\varphi(t) = V_0(1 + \kappa \cos 2\pi ft)z^2$$

q 価イオンの軸方向運動方程式は

$$\frac{d^2z}{dt^2} + (2\pi f_q)^2 (1 + \kappa \cos(2\pi ft))z = 0$$

共鳴条件

$$f = 2f_q$$

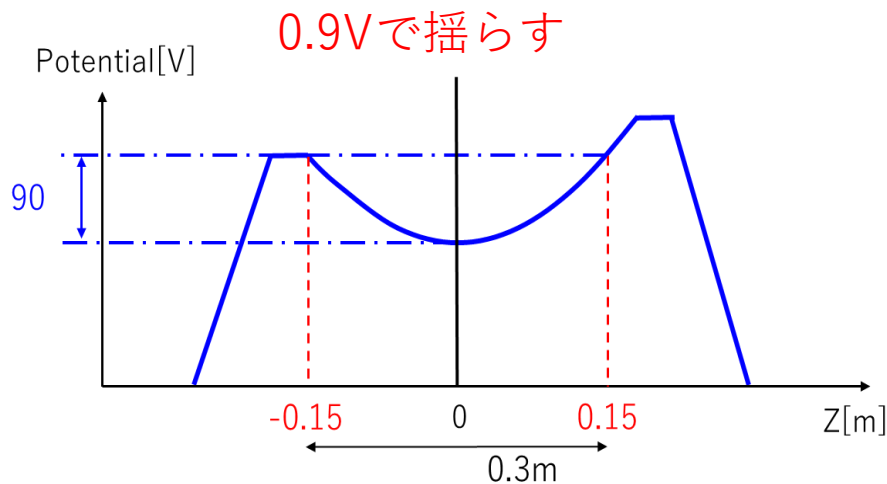


共鳴シミュレーション

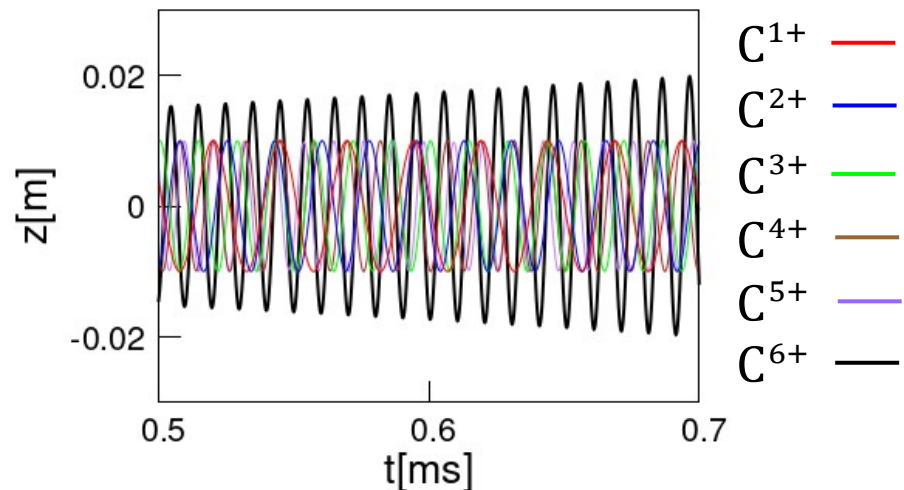
$^{12}\text{C}^{1+} \sim ^{12}\text{C}^{6+}$ をターゲットとし、**6価**を取り出す。
一次元の運動方程式を数値計算。

$$\varphi(t) = 4000[\text{V}/\text{m}^2](1 + 0.01 \cos 2\pi ft)z[\text{m}]^2$$

6価の共鳴条件 $f = 2f_6 = 197.9 [\text{kHz}]$



振動の時間発展



初期条件を変更しても**6価**のみの共鳴を確認

特定の価数のみの抽出ができる！

価数分布の見積もり

- ◆ 従来型の取出し方との比較を行いたい
- ➡ 蓄積したイオンの**価数分布**を知っておく

準備：

電子ビーム（Tricompを用いた計算）

- ビーム電流 100 [mA]
- ビーム径 ϕ 1 [mm]
- エネルギー 40 [keV]

イオンは $^{12}\text{C}^{q+}$ を想定（残留ガス）

➤ レート方程式計算

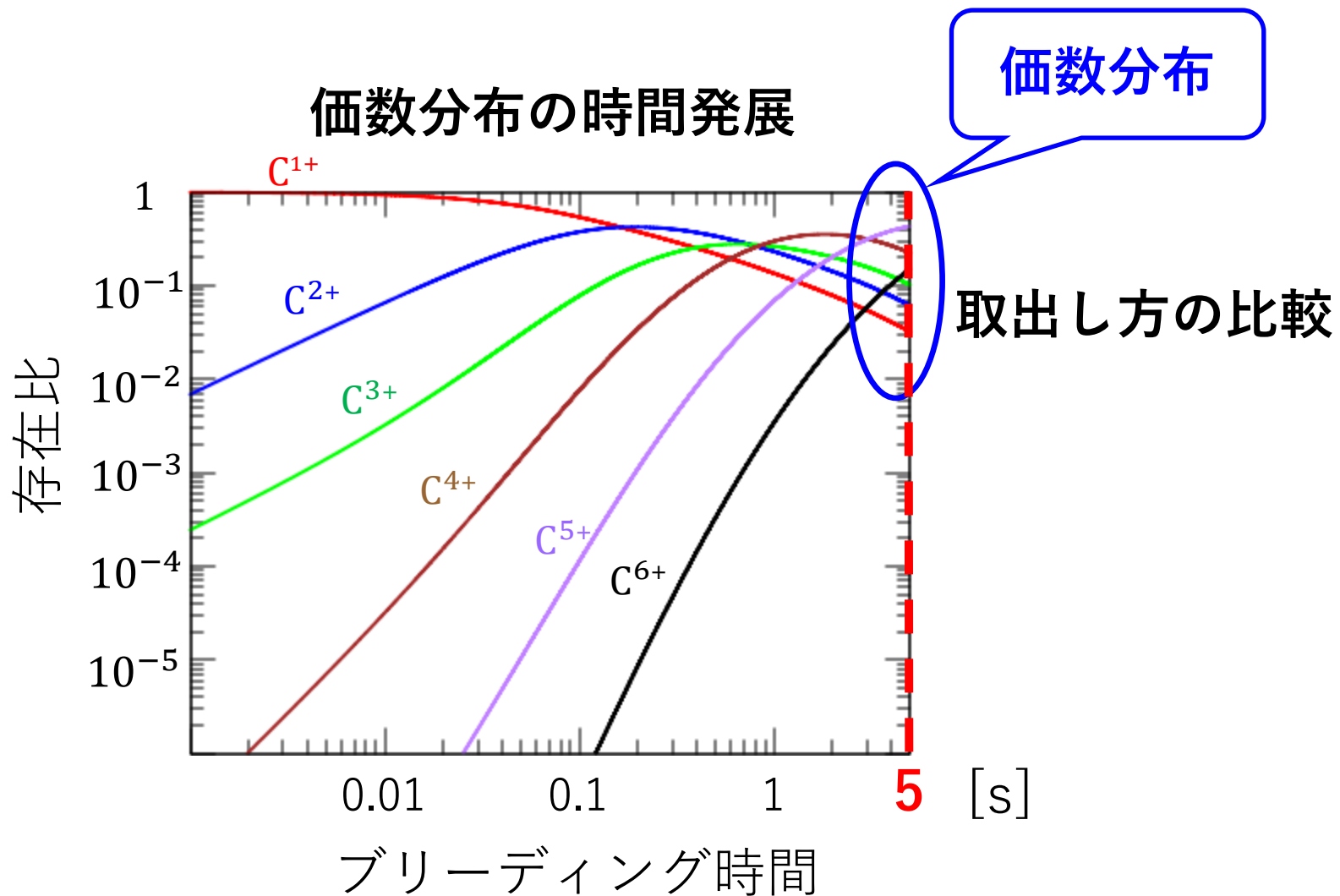
$$\frac{dn_q}{dt} = \boxed{n_e v_e (n_{q-1} \sigma_{q-1 \rightarrow q} - n_q \sigma_{q \rightarrow q+1})} - \boxed{n_q n_0 v_0 \sigma_{ex,q} + n_{q+1} n_0 v_0 \sigma_{ex,q+1}} + \dots$$

イオン化

電荷交換

真空度は 1×10^{-6} [Pa] を想定し、ルンゲクッタ法で計算

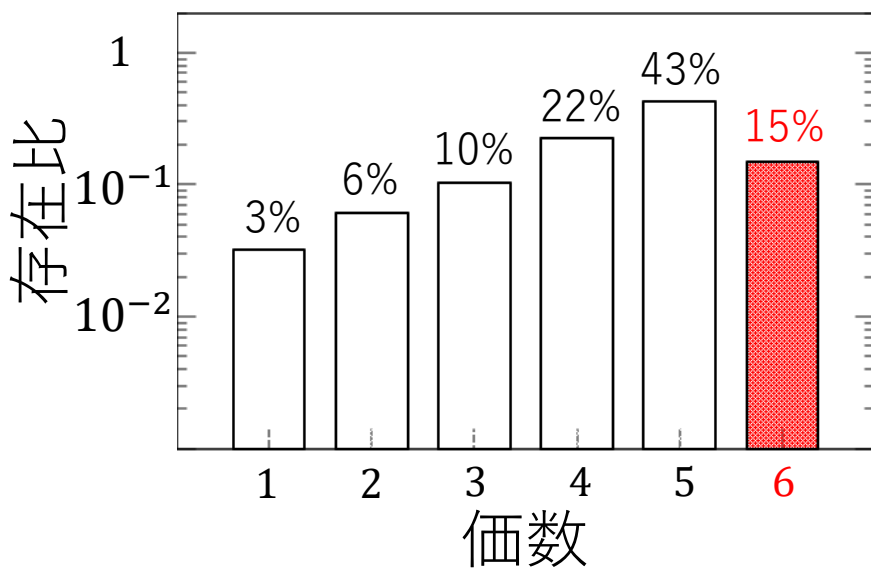
レート方程式計算結果



従来型と共鳴取出型の比較

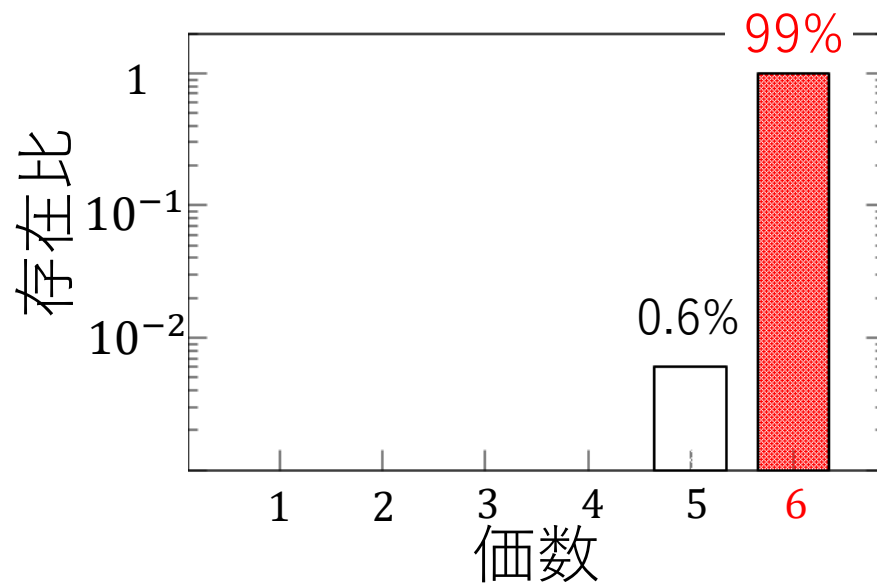
取り出されたイオンのうち**6価**の割合を比較

蓄積5s→従来型取出し



6価は15%
1~5価はロス

蓄積5s→共鳴取出し(2ms)



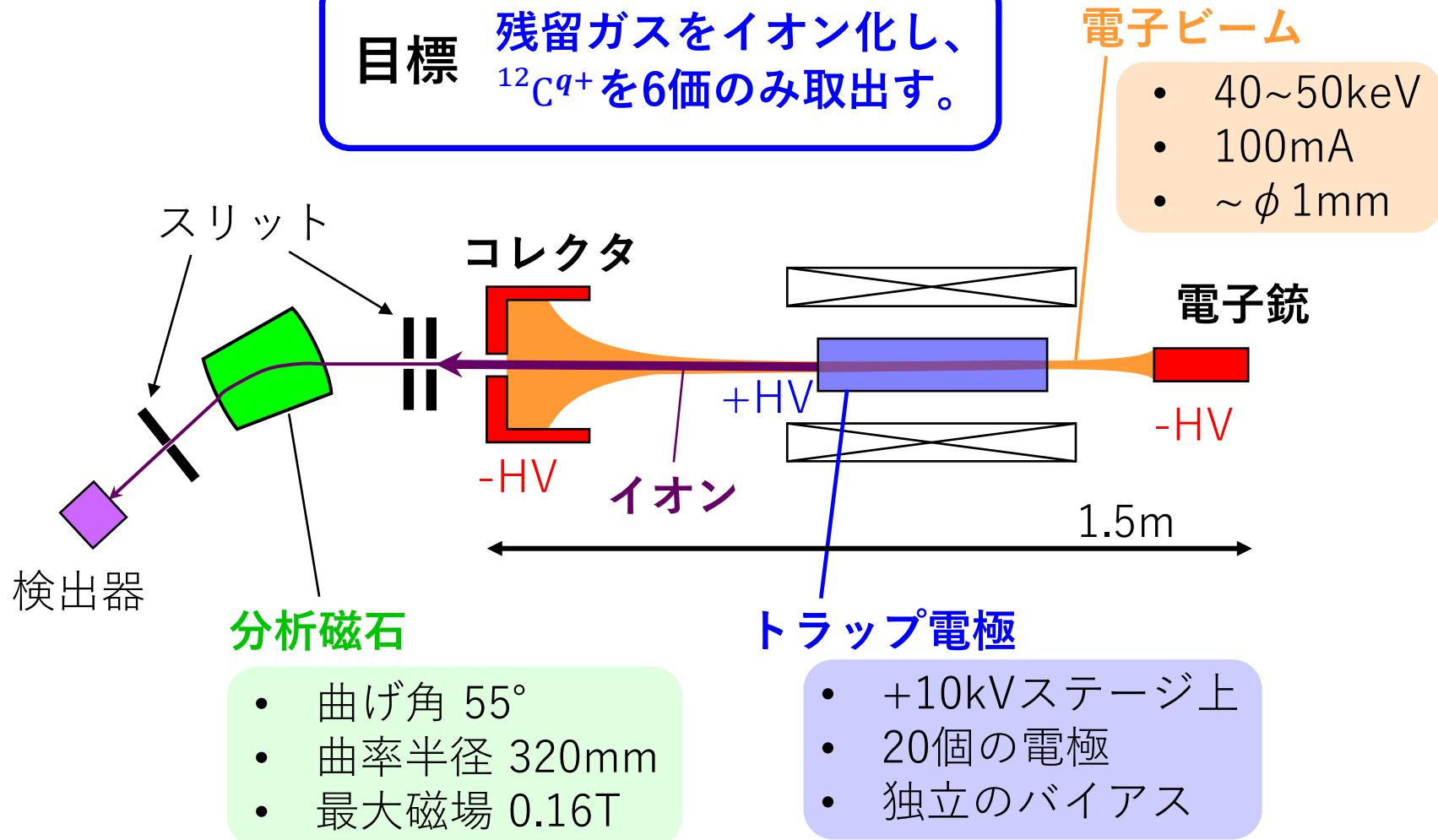
6価は99%
1~5価は蓄積継続

入れたイオンをすべて6価にする

プロトタイプ機概要

共鳴取出の原理実証のためのプロトタイプ機

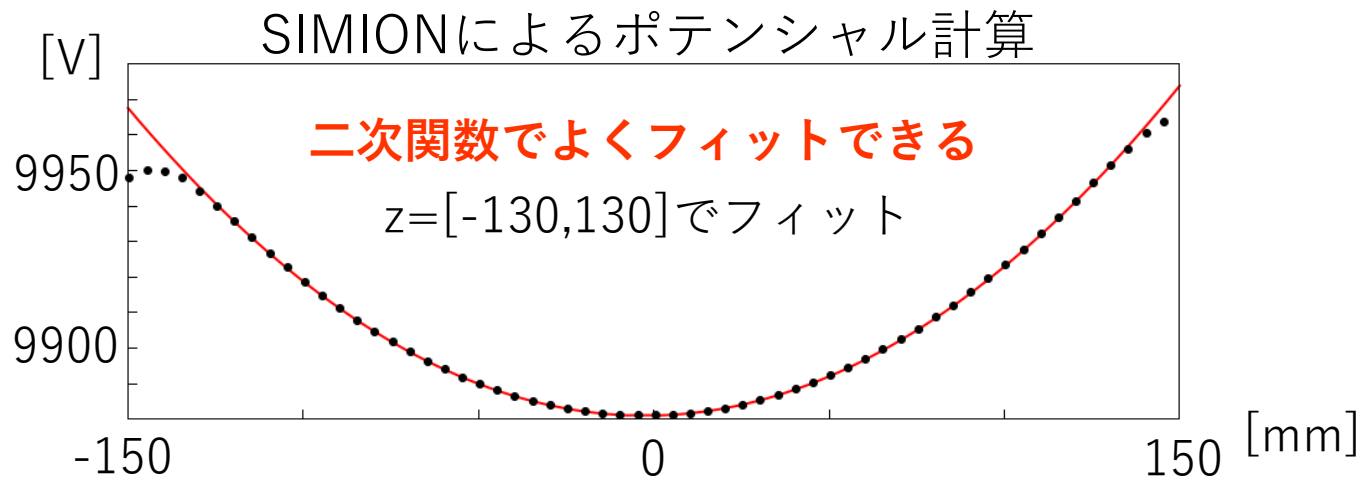
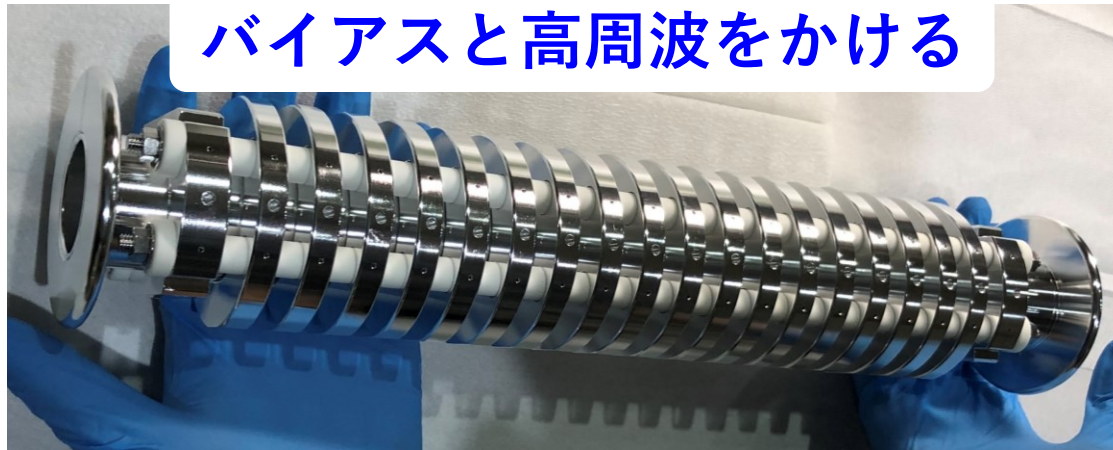
目標 残留ガスをイオン化し、 $^{12}\text{C}^{q+}$ を6価のみ取出す。



トラップ電極のポテンシャル計算

理想的な二次関数型ポテンシャルに
近づけるために、**20個独立**に電極を用意

バイアスと高周波をかける



まとめ

理想的な条件での計算では・・・

- 特定の価数のみの取出しができる
- 多価化中のイオンは留める

共鳴取出しを実証するプロトタイプ機

- 理想的な条件の実現を目指した設計
- 価数分布が一番良いパラメータの探索

全てのイオンを欲しい価数のイオンにする！